スピン·軌道相互作用 -その起源と実例ー

電子に対する相対論的な効果により、

軌道角運動量とスピン角運動量の間には相互作用が働く

外部磁場の下のゼーマン効果

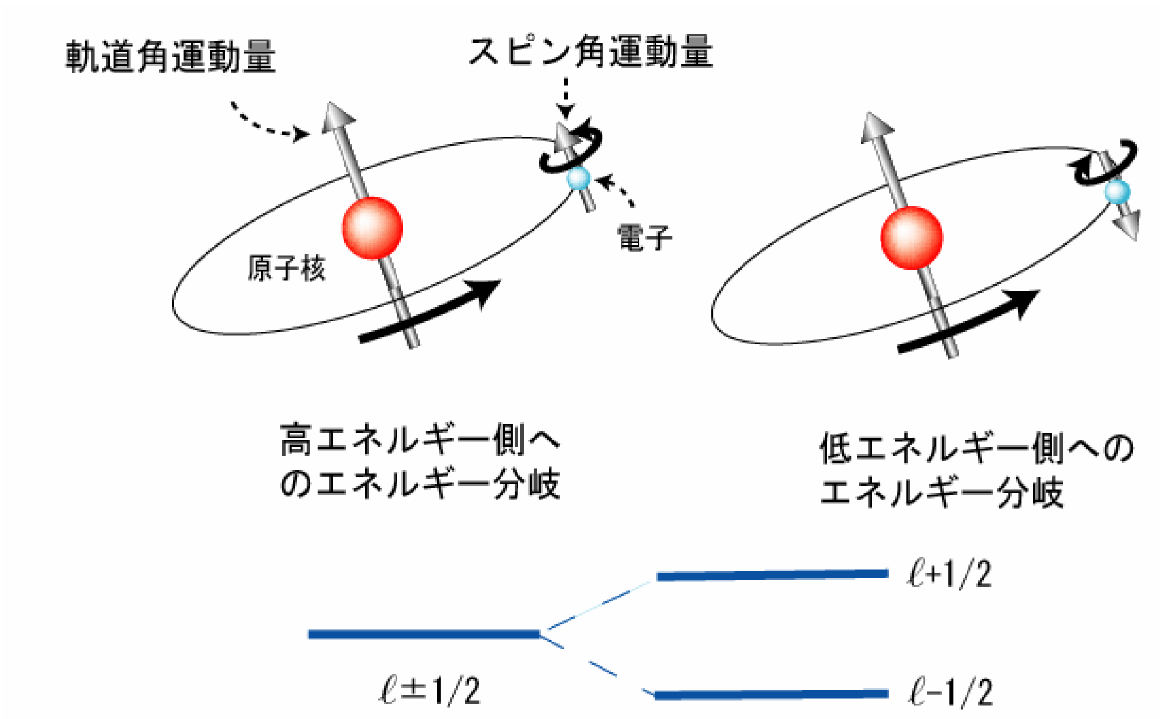
原子における電エネルギー·スペクトルの微細構造

半導体における価電子帯のエネルギー分岐

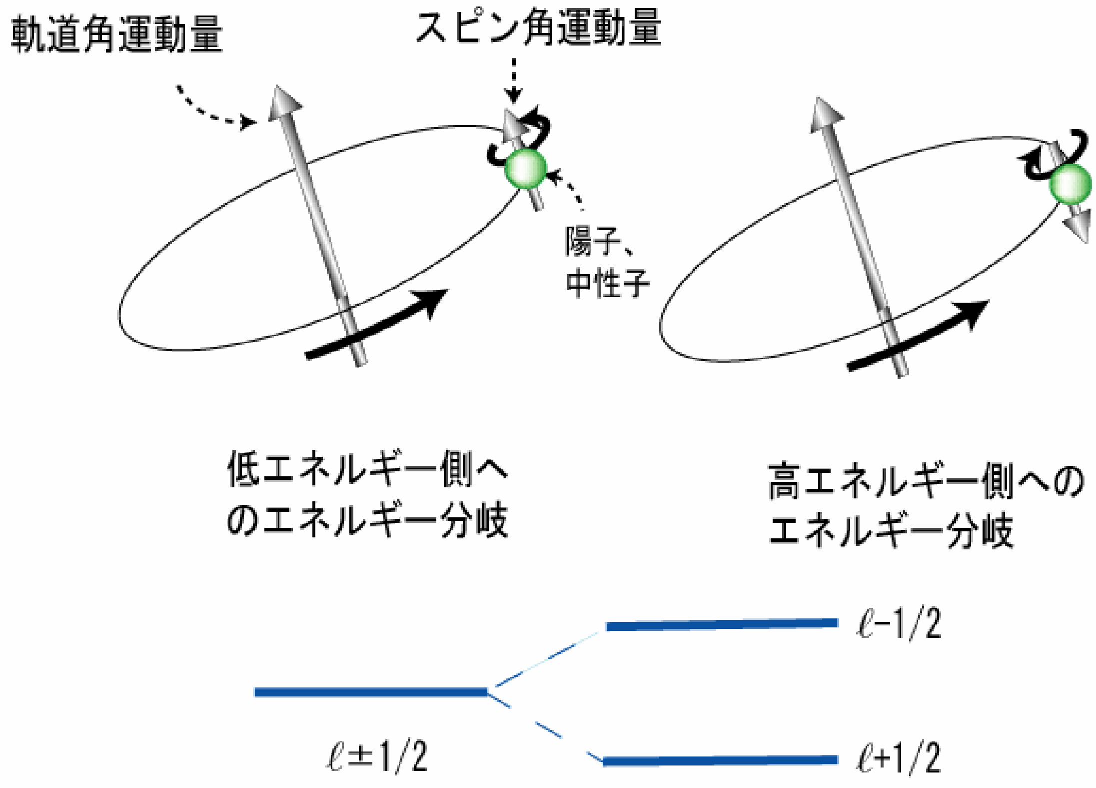
2次元電子正孔系におけるスピン軌道結合効果

$$H_{so} = f(r)\underline{\vec{l} \cdot \vec{s}}$$

$$f(r) \equiv \frac{1}{2m^2c^2}\frac{1}{r}\frac{dV(r)}{dr}$$


軌道角運動量
スピン角運動量
電子
原子核
高エネルギー側へのエネルギー分岐
低エネルギー側へのエネルギー分岐
ℓ+1/2
ℓ±1/2
ℓ-1/2

原子核の一粒子エネルギースペクトルにおけるスピン軌道相互作用



スピン軌道相互作用項の導出

原子核が軌道電子のいる場所につくる電場

$$\vec{E} = \frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{r}}{r^3}$$

速度vで運動する電子が'感じる'有効磁束密度

$$B = -\frac{1}{c^2}\vec{v}\times\vec{E} = \frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{r}\times\vec{v}}{c^2 r^3}$$

$$= \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)\frac{1}{c^2}\frac{Ze}{mr^3}\vec{\ell} \quad (\vec{\ell} \equiv \vec{r}\times m\vec{v})$$

磁束密度の中の磁気モーメントベクトルに働くポテンシャル(相互作用)

$$H_{so} = -\vec{\mu}_s\cdot\vec{B} = \frac{e}{m}\vec{s}\cdot\vec{B} \quad \left(\vec{\mu}_s = \frac{-e}{m}\vec{s}\right)$$

一般のポテンシャルに対して

$$= \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)\frac{Ze^2}{mc^3}\frac{1}{r^3}\vec{\ell}\cdot\vec{s}$$

$$H_{so} = \frac{1}{m^2c^2}\frac{1}{r}\frac{\partial V(r)}{\partial r}\vec{\ell}\cdot\vec{s} \quad ;V(r) = -\left(\frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0}\right)\frac{1}{r}$$

$$H_{so} = \frac{1}{2m^2c^2}\frac{1}{r}\frac{\partial V(r)}{\partial r}\vec{\ell}\cdot\vec{s}$$

← **相対論的効果** $(1/2)$

参考：運動系における‘有効電場‘、’有効’磁場

「静止」系（S系）における電場、磁場　$\vec{E}=(E_x,E_y,E_z),\ \vec{B}=(B_x,B_y,B_z)$

S系に対して、x軸方向に速度vで運動する系（S’系）における電場、磁場

$$\vec{E}'=(E_{x'},E_{y'},E_{z'}),\ \vec{B}'=(B_{x'},B_{y'},B_{z'});$$

$$E_{x'}=E_x,\ E_{y'}=\gamma[E_y-\beta(cB_z)],E_{z'}=\gamma[E_z+\beta(cB_y)],$$

$$B_{x'}=B_x,\ (cB_{y'})=\gamma[(cB_y)+\beta E_z],(cB_{z'})=\gamma[(cB_z)-\beta E_y],$$

$$\beta\equiv v/c,\ \gamma\equiv 1/\sqrt{1-\beta^2}$$

｜β｜が十分小さいとき

$$E_{y'}\cong E_y-\beta(cB_z),E_{z'}\cong E_z+\beta(cB_y),$$

$$cB_{y'}\cong(cB_y)+\beta E_z,(cB_{z'})\cong(cB_z)-\beta E_y,$$

$$\to \vec{E}'\cong\vec{E}+\underline{\vec{v}\times\vec{B}},\quad \vec{B}'\cong\vec{B}-\underline{\frac{\vec{v}\times\vec{E}}{c^2}}$$

参考文献

J.H.**ディヴィス「低次元半導体の物理」**(**シュプリンガー・フェアラーク東京**)、
九工大図書館蔵書番号 (428.8,D-2) pp.403-407

浜口智尋「半導体の物理」(**朝倉書店**)、
九工大図書館蔵書番号 (?) pp.31-40

R. Winkler,「Spin-Orbit Coupling Effects in Two-Dimensional Electron and Hole Systems」(Springer)、2003
九工大図書館蔵書番号 (420.8,S-3,191) pp.403-407